

晋陕蒙能源区城镇化过程及其对生态环境的影响

刘焱序^{1,2}, 吴文恒¹, 温晓金¹, 张东海²

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要: 研究能源区城镇化过程及其生态环境影响, 对于更好地认识能源富集地区发展有重要的现实意义。利用1992-2009年的DMSP/OLS夜间灯光数据, 建立晋陕蒙能源区城镇化形态的年尺度时间折线图, 探究其空间过程与动态强度, 并用与NPP价值量成正比关系的植被固碳释氧效应反映生态环境影响。结果表明, 城镇化过程在空间上的总强度不断上升, 但单位面积强度有所波动, 其形态趋于边缘复杂化和布局分散化; 大部分区域NPP价值量与城镇化强度均在增加, 少数城镇化快速增长区域NPP价值量下降。说明城镇中心的植被固碳释氧效应虽因不透水面增大而有所降低, 但城镇化进程并未降低区域整体的固碳释氧服务功能。能源区良好生态环境的客观需求和发展积累的大量资金可能有益于推动城镇化区域的生态建设。

关键词: 城镇化; 灯光强度; NPP价值; 晋陕蒙能源区

DOI: 10.11821/dlyj201311004

1 引言

城镇化是中国经济社会发展过程中的重大综合性课题。健康稳定的城镇化不仅是提升人们生活质量的 effective 方式, 也是缓解资源环境压力的重要手段^[1], 其与工业化、现代化一样, 代表着一个国家和地区发展进步的程度^[2]。当前我国城镇化快速发展, 人口集聚, 能源大量消耗, 水土资源重新配置, 城镇边缘环境发生变化, 对资源环境的影响日益明显^[3]。但生态脆弱区农村非农化进程可以有效将人口集中在自然环境较好的城镇区域, 降低生态压力, 改善区域环境质量。因此, 自然资源、生态环境与城镇化、工业化的驱动关系并不能简单归纳为正向或者负向影响。近年来, 国内学者对城镇化过程中的生态安全问题研究日渐增多, 多集中在大中城市的研究, 并在城市生态空间演变规律^[4]、城市综合生态风险^[5]、城市生态经济系统协调度^[6]、城市边缘人居环境^[7]、城市化与生态环境耦合模拟^[8]等方面取得大量成果。

由于乡镇统计数据不易获得, 因此一部分城镇化研究采用遥感影像确定城市范围, 通过较高分辨率的城镇用地扩展分析城镇化进程^[9,10]。然而, 当前研究中基于遥感影像解译所得的图像为多个时间断面, 使用该断面可以进行用地格局时空分析, 却难以精确表述用地连续变化过程。同时, 城镇化进程的度量与城市不透水面的范围大小也不能等同, 仅用解译出的建设用地面积指标也无法完全体现城镇化的紧凑程度^[11]。完整的分析除对城镇的

收稿日期: 2012-07-02 修订日期: 2013-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41101555)

作者简介: 刘焱序 (1988-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生。主要从事 GIS 与生态安全研究。

E-mail: liuyanxu00777@126.com

通讯作者: 吴文恒 (1977-), 男, 江苏邳州人, 副教授, 博士。从事区域发展与区域规划研究。

E-mail: wuwh@nwu.edu.cn

空间扩展进行描述外,还需要对城镇中工业与人口的集聚强度作出定量。因此,能反映连续时间社会经济状况的空间数据成为城镇化定量研究的需求。DMSP/OLS数据可用于人口、GDP、能耗量、碳排放等社会经济的估计,但估算中加入灯光强度因子的文献相对较少^[12]。由于区域城镇化的影响因素存在空间差异^[13],人口数量、产业结构、基础设施等因素对研究区城镇化的影响权重不易确定,但人口密集程度、产业发展程度、基础服务设施均可由灯光强度侧面体现。Lo建立了自动增长模型和线性衰减模型,分析了灯光面积和密度与中国人口密度的关系^[14];Elvidge等针对21个国家分析了灯光与GDP和电力消耗间的关系^[15],佐证了产业发展与灯光间存在关联;Kiran等分析了印度电力消费模式与灯光的关系,侧面证明了城市设施在灯光上的体现^[16]。随着经济发展和社会进步,区域整体的城镇化水平不断提升,但一定范围内城镇化的集约度需要估计。本研究使用区域灯光总强度和单位像元灯光强度代表区域城镇化强度,以便基于时间序列对比分析。前者用以表示研究区城镇、郊区和农村的整体城镇化水平,而后者可表示城镇和郊区在一定空间范围内城镇化的集约程度。

植被固碳释氧效应是生态系统服务功能的核心组成部分之一,其城镇化过程中的响应机制可从不同角度解释。一方面,城镇空间用地扩展导致周边平整的优质耕地大量减少^[17],客观上减少了农田生态系统对城镇内外碳循环的平衡作用;同时,在占补平衡过程中将偏远的草地开垦为耕地,减少了城镇外围草地、灌木生态系统的固碳释氧量。另一方面,城镇化过程中大量基础设施的修建导致了景观的破碎^[18],生态系统内部种群繁衍受到的干扰增大,不利于植被生长,从而降低了其服务功能。然而,城镇化过程中积累的资金用于退耕还林和封山育林又促进了生态恢复,植被固碳释氧效应因而增大。所以,植被固碳释氧效应与城镇化过程间的关系应辩证对待。

随着我国工业化对能源需求的不断增大,受能源开采地区采矿业和能源加工业等驱动的城镇化问题逐渐受到关注。矿石开采和废料堆砌破坏地表生境,地下采空区导致频繁的地表塌陷,能源化工企业产生悬浮颗粒、二氧化硫、石油类和氨氮类水质污染,这些能源区特有的城镇化与工业化效应正严重影响着区域生态环境。地表植被可以通过吸收有害气体、固碳释氧,改善区域整体生态环境,但目前能源区城镇化进程对区域内植被生态效应的影响机制并未完全明确。尤其是近十年该类区域在国家生态恢复的政策导向下,城镇化对土地的占用不一定导致区域整体植被生态功能的下降。针对这一问题,本研究拟通过遥感量化手段探究能源区中小城镇的城镇化过程与植被固碳释氧效应。

2 数据准备

2.1 研究区界定

晋陕蒙能源区处于黄河中游的陕北、晋西北与内蒙古南部的接壤地带,邻接或处于鄂尔多斯盆地,是晋陕蒙油气与煤炭资源的主要开采基地,在板块构造、煤炭储量、经济条件、历史文化、气候与水文特征等方面存在较大的内部分异。近十年来跨省综合研究该区的相关地理学文献并不多见,对其划分方法也各不相同。鉴于涉及植被固碳释氧生态效应评价,本研究依据对植被生态服务功能较为重视的晋陕蒙水土保持监督局辖区范围,选取山西省忻州市的河曲县、保德县和吕梁市兴县,陕西省榆林市的神木县、府谷县、榆阳区和横山县,内蒙古自治区呼和浩特市托克托县和鄂尔多斯市的达拉特旗、准格尔旗、东

胜区、伊金霍洛旗，3省区5市共12个县（区，旗）（图1）。该区域包括神府、东胜、准格尔、河东4大煤田，被称为“黑三角”地区，但由于气候干旱，植被稀少，土质疏松，导致生态环境脆弱，水、旱、风沙、霜冻等自然灾害频繁。

2.2 数据来源

美国军事气象卫星 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) 搭载的 OLS (Operational Linescan System)传感器可以探测夜间低强度灯光，其提供产品分为稳定灯光图像、辐射定标平均灯光强度图像和非辐射定标平均灯光强度图像^[19]。本研究选用NOAA国家地球物理数据中心(NGDC)对DMSP/OLS数据进行处理而生成1992-2009年稳定夜间灯光数据，其空间分辨率30"，时间分辨率1年。其栅格DN(Digital Number)值0-63表示无云夜间灯光出现的频率。频率越高则证明人类生活和生产活动越频繁，间接反映城镇化强度大。

植被固碳释氧效应评价数据选用2001-2009年MODIS影像MOD13A3产品，即空间分辨率1km的NDVI月数据，源自NASA。气象数据包括2001-2009年间月降水、气温数据，取自中国气象科学数据共享服务数据集。土地利用数据选用2001-2009年MODIS影像MCD12产品，即空间分辨率500 m土地覆盖数据，来源于美国地质勘探局(USGS)网站。使用该数据用于区分不同年份的地表覆被情况，从而确定每年的各像元植被最大光能利用率。由于分辨率不同且属于离散型数据，使用最邻近法重采样将土地覆盖数据转化为1 km分辨率。辅助数据采用2008年府谷县土地利用详查数据，比例尺1:50000，只提取建制镇部分。同时采用内蒙古自治区、陕西省与山西省的相关年份统计年鉴作以参照。

3 研究方法

3.1 城镇化范围与形态提取

为消除灯光散射引起的城市范围“溢出”，国内外先后对DMSP/OLS数据采用了经验阈值法、突变检测法、统计数据法和较高分辨率影像数据空间比较法等处理方法^[19]。Henderson等^[20]采用1、20的阈值分别作为有效灯光和城市灯光，分别提取了旧金山、北京、拉萨等发展水平不同的几个城市的边界，结果为拉萨的拟合效果最好。其他研究者如

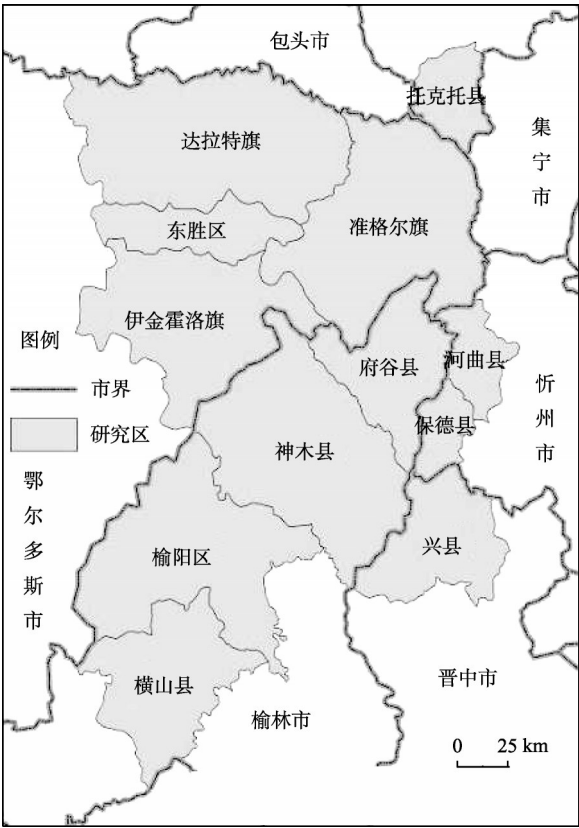


图1 研究区位置
Fig. 1 The location of the study area

卓莉、何春阳、王跃云等, 阈值设定标准与方法各不相同^[21]。因考虑到城镇与城市的差异, 本研究参照建制镇范围进行判定。采用经济与人口指标处于研究区各县中等水平的府谷县矢量建制镇地类, 保留面积在 1 km² 以上斑块, 统计落在斑块内的 2007、2008 和 2009 年灯光强度, 其值在 22 左右浮动。为便于统计, 研究以 22 以上作为城镇化的核心区域, 其已经出现城镇建成区。同时, 工矿用地、公路交通、郊区分散的基础设施等灯光亮度较暗, 都不在核心区域范围内。前人对灯光数据最低值的处理各不相同, 但均未小于 1。本研究认为 1~22 部分可能是由于分辨率过低, 导致地面亮点被周围黑暗背景值中和所致, 不排除受城镇化和工业化影响的可能。以该类区域做为城镇化边缘区域, 其可能有少量城镇化现象的存在。而小于 1 的部分暂认为由大气散射, 造成尚未有城镇化迹象, 作为外围区域。因此最终参照城镇、郊区、农村的三分法, 依次将研究区划分为城镇化核心区、边缘区和外围区。该名称仅为了方便区分预设的阈值划分类型, 与其他研究的命名规则和意义无关。

显然, 随着城镇化率不断提高和工业化程度的加大, 在空间格局上理应出现核心区向边缘区扩散、边缘区向外围区蔓延的现象。该变化可借助分形理论进行定量表达。将城镇化格局作为景观格局中一个扩展中的斑块, 可将核心区到边缘区的空间扩展过程表述为景观指数。紧凑、集约的城镇化形态可以降低能源与土地消耗, 是未来城镇化发展趋势, 因此本研究选用紧凑度(C)反映斑块形状的紧密性。其原理是计算斑块与相同周长圆形的差异^[12], 即当整个城镇化区域为一个圆形时, C 为 1; C 越小, 表示城镇化分布越分散。其公式为:

$$C = 2\sqrt{\pi A}/P$$

式中: P 为所有斑块边界总长度(km); A 为所有斑块总面积(km²)。

3.2 植被固碳释氧量估算

植被固碳释氧效用主要由植被种类和长势决定, 容易遥感定量化。同时, 能源区城镇化中的碳排放量也普遍高于其他同等城镇规模地区, 固碳释氧效用对能源区碳循环有特殊意义。目前, 对植被固碳量和释氧量的测算多数采用光合作用方程进行, 即根据配平后的总方程式 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$, 通过总初级生产力(GPP)反推。由于植被同时存在耗氧释碳的呼吸作用, 因而实际的固碳释氧量即光合作用减去呼吸作用所得结果, 在推算中将植被呼吸消耗的能量扣除, 即使用植被净初级生产力(NPP)。研究首先采用改进的 CASA 模型估算 NPP 物质质量, 核心模型如下^[22]:

$$NPP = APAR \times \varepsilon, \quad APAR = SOL \times FPAR \times 0.5$$

式中: $APAR$ 表示像元吸收的光合有效辐射(MJ·m⁻²); ε 表示像元的实际光能利用率; SOL 表示像元某月太阳总辐射; $FPAR$ 表示植被层对太阳有效辐射的吸收比例; 常数 0.5 表示有效辐射占总辐射比例。 $FPAR$ 测算方法为:

$$FPAR = (FPAR_{NDVI} + FPAR_{SR})/2, \quad SR = \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI}$$

$$FPAR_{NDVI} = \frac{(NDVI - NDVI_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} + FPAR_{min},$$

$$FPAR_{SR} = \frac{(SR - SR_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(SR_{max} - SR_{min})} + FPAR_{min}$$

$FPAR_{max}$ 和 $FPAR_{min}$ 的计算方法如下: 其中 $FPAR_{max}$ 取 0.95, $FPAR_{min}$ 取 0.001^[22], $NDVI$ 与 SR 分别表示归一化植被指数和比值植被指数。同时, ε 的计算方法如下:

$$\varepsilon = f_1 \times f_2 \times w \times \varepsilon_{\max}, \quad f_1 = 0.8 + 0.02 \times T_{opt} - 0.00005 \times (T_{opt})^2, \\ f_2 = \frac{1.184 \times (1 + \exp(0.3 \times (-T_{opt} - 10 + T)))}{1 + \exp(0.2 \times (T_{opt} - 10 - T))}, \quad W = 0.5 + 0.5 \times E/Ep$$

式中： f_1 、 f_2 与 w 分别表示地温、高温和水分胁迫系数； ε_{\max} 为不同植被最大光能利用率，由于原值偏低，国内普遍取朱文泉模拟结果^[23]； T_{opt} 为年内NDVI值最高时月平均气温， T 为当月平均气温； Ep 为潜在蒸散量， E 为实际蒸散量，可通过月均温度推导得出^[24]。在具体处理中将气象数据生成栅格面图层，其由研究区内部和周边站点共16个进行普通克里格插值所得，其中陕西站点5个、山西站点2个、内蒙古站点9个。蒸散量计算过程参照周广胜、张新时的估算方法^[25]。

3.3 植被NPP价值估算

在光合作用中生成的有机物是生态系统能量循环的核心组成部分，也应作为植被固碳释氧效用的部分产物。研究利用影子价格法，将有机物量、固碳量与释氧量通过价格形式予以统一，作为植被的NPP价值。根据上述光合所用方程，初级生产力与 CO_2 、 O_2 的质量比例关系为100:163:120，可计算出三者各自的物质量。在价格估算中，合成有机物的热量由标煤法换算，其模型为^[26]：

$$V = (AQI/BQ2) \cdot P$$

式中： V 为有机物价值； A 为有机质干重； B 为煤质量系数，标煤为1； P 为标煤价格，取345.5元/t， $QI=6.7\text{kJ/g}$ 为干重生物量折合热量， $Q2=10\text{kJ/g}$ 为标煤折合热量。

固碳成本常以碳税法表示，碳税法中瑞典提议500\$/kg，美国为20\$/t，由于美国碳税明显低于人工固碳成本，瑞典提议碳税又为目前各国中最高，因此暂取均值，同时乘以该金额确立时的人民币当时汇率8.27，以便与前人研究成果一致。碳税法得出本研究固碳成本取702.95元/t，同时释氧成本取工业制氧成本400元/t^[26]。上述标准均借助已有成果，为保证研究成果间的可比性，暂不乘折现率。

3.4 变化趋势分析

根据一元线性回归方程， $y=a+bx$ 中斜率 b 可表示自变量的变化趋势。以时间为自变量，分别以栅格的NPP价值和灯光强度作为因变量，采用最小二乘法拟合，可得变化趋势的斜率。其公式为：

$$b = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times G_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n G_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中： b 为趋势斜率； n 为时间点数量； i 为时间； G_i 为各像元的统计量。

4 结果分析

4.1 城镇化空间分析

从图2可知，2009年夜间灯光强度和面积远高于1992年值，体现了研究区17年间社会经济飞速发展，城镇化趋势明显。取2000年后3个时间断面统计本研究12个区（县，旗）的非农人口数和非农人口比如表1所示。可见，各区县非农人口数与非农人口比均有一定程度提高，城镇化趋势客观存在。其中鄂尔多斯市辖区，即东胜区、达拉特旗、准格尔旗、伊金霍洛旗的非农人口比最高且增长最快，恰好与图2中内蒙古地区内部突出的灯

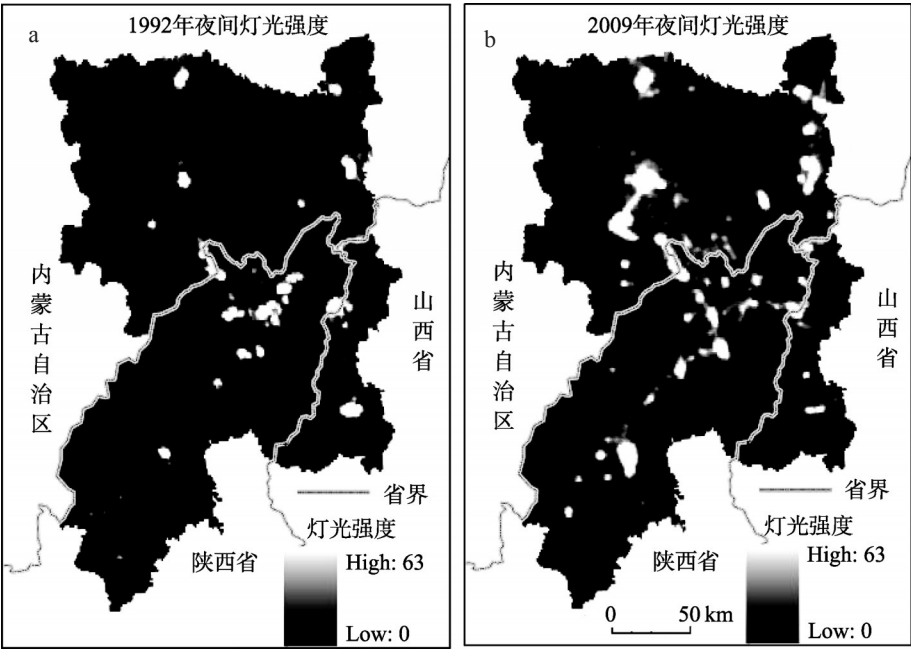


图2 不同年份夜间灯光强度对比

Fig. 2 Contrast of night light intensity in different years

光强度相对应。陕北各区县非农人口比例低，但其非农人口基数较大，实际的增长量并不低。尤其是榆阳区9年间非农人口增长近50%，是图中陕西境内灯光强度变化最剧烈的部分。相比之下，山西3县的人口非农化进程相对较慢，在图中灯光增长的幅度也不如内蒙古与陕西境内各县区。可见，研究区内灯光强度增加与非农人口增长是基本同步的。

根据上述城镇化外围区、边缘区、核心区的分区原则，统计每年各分区灯光

总强度和单位像元灯光强度。如图3可知，研究区核心区与边缘区的城镇化总量均在波动中上升，且2003年以后上升速度开始加快，对应着当地人口数量与经济总量近几年的快速上升。而研究区城镇化集约性的变化规律则相对较为复杂。与核心区单位灯光强度逐渐增加、经济与社会活动在波动中不断密集不同，边缘区的城镇化集约性体现出较大起伏，在逐渐降至2005年的最低点后又有所回升。核心区的逐渐集约化特征体现了城镇作为增长极对周边乡村的集聚作用拉动了郊区与乡村人口向城镇集中的大趋势，尤其是2003年

表1 县域非农人口统计

Tab 1 Statistics on the non-agricultural population in each county

	非农人口(万人)			非农人口比例(%)		
	2001	2005	2009	2001	2005	2009
河曲县	3.94	5.13	5.57	0.28	0.36	0.38
保德县	2.86	3.93	5.02	0.19	0.26	0.31
兴县	4.31	5.11	6.89	0.16	0.19	0.25
榆阳区	12.16	15.75	18.25	0.29	0.34	0.36
神木县	8.45	9.94	10.72	0.23	0.26	0.26
府谷县	3.52	3.91	4.68	0.16	0.18	0.20
横山县	2.62	3.12	3.65	0.08	0.09	0.10
东胜区	13.48	18.88	22.20	0.68	0.82	0.88
托克托县	3.39	5.11	5.52	0.18	0.26	0.27
达拉特旗	5.84	13.65	20.85	0.18	0.41	0.58
准格尔旗	5.96	11.13	17.07	0.22	0.41	0.57
伊金霍洛旗	2.89	8.17	9.40	0.20	0.57	0.59

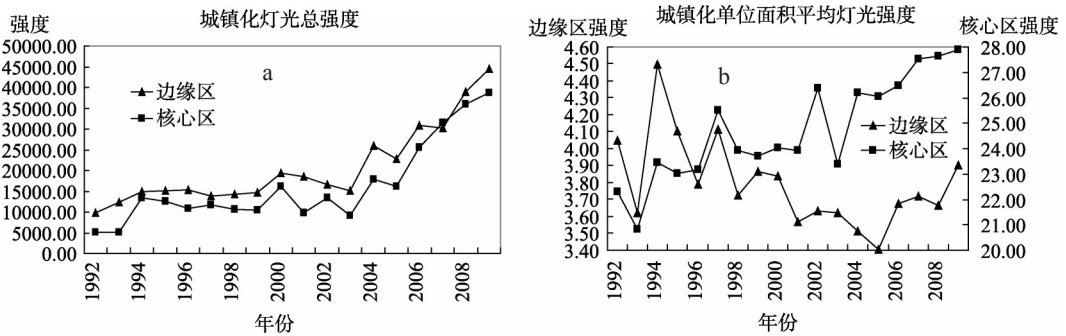


图3 城镇化灯光强度折线图

Fig. 3 Polygonal line charts for light intensity in urbanization

以后随着区域城镇化进程的加快该作用更加明显。边缘区的波动则说明原先集中在城镇中心的经济与社会活动因能源开采活动而出现空间上的分散，虽然城镇具有极化作用，但大中型能源开采与加工企业在矿区附近的布局导致了第二产业劳动力的分散化，这部分核心向边缘的分散推力与核心区域本身对边缘的集聚效应相结合，导致人口的集约性不断波动。同时，随着用地扩展，单位面积土地的经济强度或人口密度会有浮动，因此目前强度趋势并不明朗。从长期角度，由于城镇化用地不会无限制地扩展，在产业结构不断完善，初期财富积累至一定阶段后，人口依然会呈现出向城镇核心集中的态势，强度开始上升。但由于样本较少，核心区与边缘区的强度上升趋势能否继续持续仍不能确定。

边缘区与核心区的紧凑度在波动中逐渐降低（图4），可见城镇化斑块在空间上逐渐趋于复杂化和分散化。折线显示2000-2001年其紧凑程度发生明显变化。由于2000年与2001年所用同一传感器，且1999年与2000年、2000年与2001年差距较小，可认为该变化并非数据误差导致，可反应地面实际情况。将折线分为1992-2000年与2001-2009年两组，可明显观察到城镇化斑块边缘

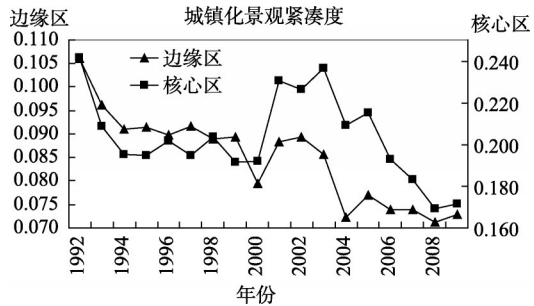


图4 城镇化斑块形态折线图

Fig. 4 Line charts for the parch shape in urbanization

随时间的逐渐复杂和斑块空间分布的逐渐广泛。1992-2000年中核心区与边缘区的变化趋势基本相同，但2001-2009年中核心区在分布广泛性上逐渐稳定，边界复杂性上快速上升，而边缘区在图中的快慢趋势却与之相反。可见城镇化区域与受城镇化扩散作用波及区域其空间形态发展趋势并不相同。由于工矿布局位置往往并不受产业集聚的影响，因此在能源产业高速发展时期斑块形态短期内趋于紧凑的可能性不大，紧凑度下降的趋势仍将在波动中维持。

4.2 城镇化与NPP价值的变化格局

计算出NPP物质质量空间年份间差异较大，其最大值在486.5 t/km²-752.3 t/km²间波动。考虑到研究区地表覆被以牧草地与灌木林地为主，参照前人实测资料^[27-30]，符合正常观测范围。根据NPP物质质量换算出价值量后，与灯光强度一同作线性趋势分析。取0与趋势平

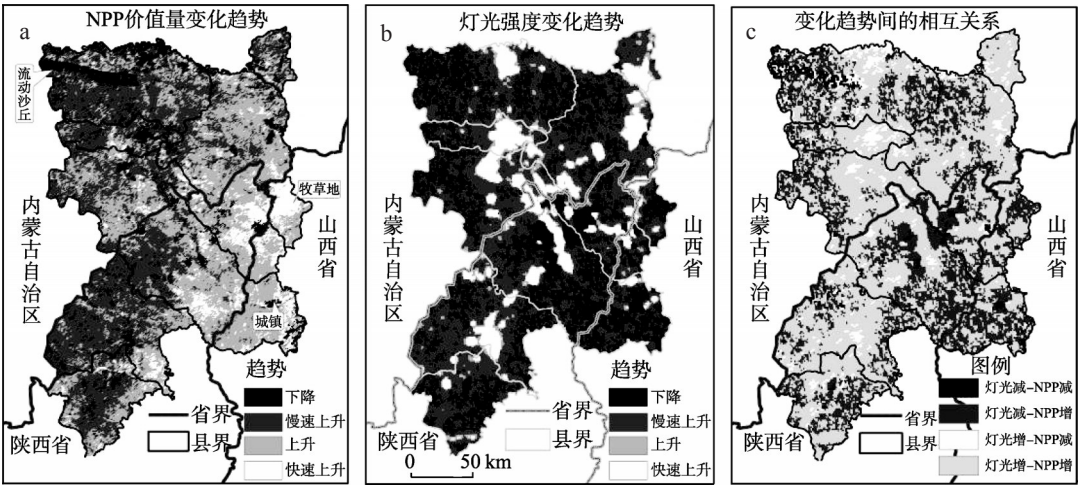


图5 变化趋势计算

Fig. 5 Calculation of the changing tendency

均值为界线，则小于0为下降，大于0小于平均速度命名为慢速上升，超过平均值一倍，命名为快速上升（图5）。

可见，9年间NPP价值总体呈升高趋势，在晋陕交界处升高速度最快。除荒漠及其边缘植被上升速度较慢外，其余大部分像元植被生长状态良好。其中各行政界线内均有下降部分，可清晰地判读为城镇用地，显示出城镇化的核心部分植被NPP价值减少的趋势。通过灯光强度变化趋势，可更清晰显现城镇化的核心区域灯光强度快速上升，而下降或慢速上升区域出现在边缘区的概率较高。大面积的灯光下降或慢速上升显示了城镇化效应对边缘区域作用的不稳定特征。由于边缘区域未形成较稳定的城镇用地，人类长期居住的可能性降低，因此灯光出现的随机性较大，强度也均在较低范围内波动。然而，灯光强度快速上升的区域面积远大于NPP价值下降的区域，说明城镇化进程并未降低生态脆弱的能源区的整体生态效应。

对比趋势间相互关系，在近十年植树造林力度不断加大的背景下，灯光强度与NPP价值同步增加显然成为研究区的主要趋势。在遥感图像中尚无法发现生态效应增加会明显阻碍城镇化进程的论据。但少数像元出现灯光增加而NPP价值减少的情况，说明城镇化过程的确会对城镇局部生态效应产生负向影响。另外，一些地区出现灯光减少而NPP增加的现象，说明部分边缘区人类活动正在减少，显然其与生态恢复及城镇化过程均有关联。另有少量像元显示灯光强度与NPP价值均在降低，研究区毗邻毛乌素沙地与库布齐沙漠，有可能正在出现沙漠化现象。

研究区城镇化核心区与边缘区中的NPP总价值大幅上升（图6），其中核心区NPP价值总量增长近10倍，而边缘区NPP价值总量也增长超过3倍。为消除城镇化作用面积扩张的影响，统计单位面积NPP价值，可见核心区、边缘区与外围区的NPP单位面积价值在9-29万元/km²间，9年内整体趋势是在波动中增加。边缘区与外围区NPP单价相差不大，而核心区NPP单价约为前二者的一半。核心区NPP价值总量的增长主要是由于核心区面积的增加；同时降水数据并未显示同期雨量有明显增加趋势，因此可理解为生态恢复大背景是NPP单价增加的主因。核心区由于包含大量城镇建成区，NPP单价较低可以理解，而外围区NPP单价并未明显高于边缘区体现了研究区半干旱条件下的土地利用特征。由于沙

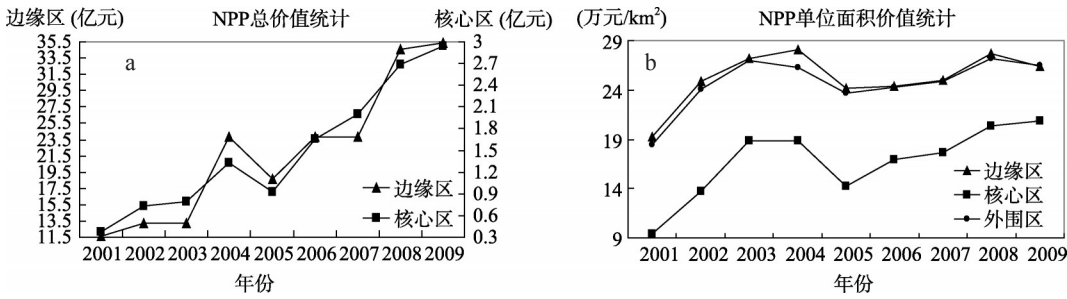


图6 NPP价值统计

Fig. 6 Statistics on NPP value

漠附近植被生长较为困难，因此除建成区外，人类频繁活动区域反而是植被覆盖相对较高区域，所以外围地区不会因为人类活动少而显现出生态效应优势。相反，城镇化反而会驱使人们增加植物覆被以改善区域人居条件，体现了研究区城镇化过程的生态效应影响有明显的地域特色。

4.3 城镇化与生态建设的关系

城镇化过程对区域生态效应的影响显然与区域本底特色和生态效应的类型相关。城镇化过程与空气、水资源污染的因果关联较为直接，而与植被生态效应的作用则较为复杂。一方面城镇建成区的增加势必导致地表不透水面的增大和其范围内的植被覆盖率下降，另一方面为了改善人居环境近年来地方对城镇周边植被的恢复力度也在上升。采矿业是能源区城镇化的重要依托，然而资源的散点分布特点导致集约紧凑的城镇化土地利用模式在能源地区实施难度较大。分散化的建设用地布局显然干扰了生态用地的完整性，城镇化的负向影响客观存在。但由于人口在矿区的集聚也促使政府关注周边风沙防护、水土保持等问题。晋陕蒙三角地带本身自然条件相对恶劣，人口承载能力相对较低。随着城镇化区域的不断扩大，面临的生态环境问题也将同步增加，但为改善人居条件加强了区域生态恢复建设。尤其是能源开采加工的巨大经济效益提供了增加生态环境投入的可能。因此，虽然城镇化人口集聚增大局部生态环境压力，但城镇化财富积累有助于生态建设。如果人口集聚和财富积累并反馈于生态建设能在时间上保持同步，相信城镇化对生态环境造成的一些负效应是可以避免的。

对于晋陕蒙能源地区而言，城镇化发展与生态建设在空间上并不矛盾，这由其农牧交错带的特殊自然条件所决定。多数城镇在发展过程中，生态环境呈现农村优于郊区、郊区优于城区的格局，城镇扩展在土地利用和景观角度势必对周边植被造成破坏。而就研究区而言，本身毗邻沙漠、气候干燥、植被稀少，不适于大规模人口的集聚，因此在城镇发展中呈现郊区生态优于城区和农村的现象。该地区在能源产业发展的驱动下城镇快速发展，为保障居民生产生活条件，对城镇绿化带和郊区防护林建设的资金投入不断加大，同时该区是“三北”防护林四期、五期、“天保”工程一期、二期等生态环境保护的重要实施区域，从而人为提高了区域植被覆盖情况，改善了生态条件，也因此出现了夜间灯光强度与NPP价值同时增加的局面。在一定意义上，可以说快速城镇化“迫使”政府植树种草，努力提高区域整体的生态承载能力。

5 结论与讨论

5.1 结论

研究将DMSP/OLS夜间灯光数据体现的城镇化过程和以NPP价值代表的植被固碳释氧效应相结合,分析晋陕蒙能源区城镇化及其生态环境影响,得到如下结论:

(1) 1992-2009年间虽然研究区城镇化进程经过几次较大波动,城镇化空间上的单位面积强度不稳定,但城镇化总强度不断上升。紧凑度计算显示研究区城镇化形态趋于边缘复杂化和布局分散化。

(2) 大部分区域NPP价值量与城镇化强度均在增加,但少数城镇化快速增长区域NPP价值量出现下降。说明城镇中心的植被生态效应虽然可能因不透水面增大而有所下降,但城镇化进程并未降低区域整体生态效应。

(3) 灯光强度与NPP价值同步上升的趋势证明,在自然条件相对恶劣地区,城镇化导致的人口和资金集聚有时能够有效推动周边生态环境的改善,以满足人居要求。城镇化与生态建设的矛盾存在化解的方式。

5.2 讨论

从自然条件上讲,晋陕蒙能源区的这种“良性”城镇化进程并不能够一直高速持续下去。植被固碳释氧的确对能源区碳循环起到明显的正向作用,但生态建设并非植被越多区域整体生态效应越好。植被增加无疑加剧了区域水循环,但干旱地区植被蒸腾作用会导致土壤含水量下降,形成结皮,反而会导致植被枯死。因此,城镇化过程和生态恢复在空间上都要受到自然条件制约。水资源的限制导致生态建设速度不可能永远与能源区城镇化的速度保持一致,沙漠边缘的城镇化即使经济上可行,生态上也是难以持续的,其发展过程可能会逆转。植被生态效应与植被物种选择、水热条件和土壤类型、管理者养护程度都密切相关。短期分析得出的城镇化过程对植被生态效应整体上有正向影响尚不能以时间尺度外推。

同时,能源区的城镇化过程与大城市所面临的城市化问题有较大不同。乡镇的城镇化过程主要依托当地工矿企业或能源加工企业,在人口和资金上体现出了城镇化特征,但其生活基础设施建设与环境质量改善则仍要相对滞后。随着矿区能源储量下降和产业结构转型,此类乡镇的人口和资金容易涌向其他地区,从而导致建筑的空置率大幅上升,城镇功能逐渐降低。因此从长时间角度考虑其城镇化相对更不稳定。在目前的生态建设中,短期效应往往是对人居环境的改良,而长期角度上对生态用水量的分配、退耕与粮食安全问题、不透水面复垦等一系列因素尚无完整的预估。短期城镇化过程与长期不可逆的城镇化行为是有差异的,建议对于零星分布的工业化企业引起的用地类型改变和人口集聚应提前进行规划,做好生态恢复的有关预案。

参考文献(References)

- [1] 姚士谋, 陆大道, 王聪, 等. 中国城镇化需要综合性的科学思维: 探索适应中国国情的城镇化方式. 地理研究, 2011, 30(11): 1947-1955.
- [2] 刘玉, 冯健. 中国区域城镇化发展态势及战略选择. 地理研究, 2008, 27(1): 45-54.
- [3] 姚士谋, 陈振光, 王辰, 等. 我国资源环境对城镇化问题的影响因素. 地理科学进展, 2008, 27(3): 94-100.

- [4] 陈爽, 刘云霞, 彭立华. 城市生态空间演变规律及调控机制: 以南京市为例. 生态学报, 2008, 28(5): 2270-2278.
- [5] 张小飞, 王如松, 李正国, 等. 城市综合生态风险评价: 以淮北市城区为例. 生态学报, 2011, 31(20): 6204-6214.
- [6] 王振波, 方创琳, 王婧, 等. 1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式. 地理学报, 2011, 66(12): 1657-1668.
- [7] 祁新华, 程煜, 胡喜生, 等. 大城市边缘区人居环境系统演变的生态—地理过程: 以广州市为例. 生态学报, 2010, 30(16): 4512-4520.
- [8] 刘耀彬, 陈斐, 李仁东. 区域城市化与生态环境耦合发展模拟及调控策略: 以江苏省为例. 地理研究, 2007, 26(1): 187-196.
- [9] 王厚军, 李小玉, 张祖陆, 等. 1979-2006 年沈阳市城市空间扩展过程分析. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2673-2679.
- [10] 董廷旭, 秦其明, 王建华. 近 30 年来绵阳市城市用地扩展模式研究. 地理研究, 2011, 30(4): 667-675.
- [11] 马丽, 金凤君. 中国城市化发展的紧凑度评价分析. 地理科学进展, 2011, 30(8): 1014-1020.
- [12] 杨眉, 王世新, 周艺. DMSP/OLS 夜间灯光数据应用研究综述. 遥感技术与应用, 2011, 26(1): 45-51.
- [13] 曹广忠, 王纯洁, 齐元. 我国东部沿海省区城镇化水平影响因素的空间差异. 地理研究, 2008, 27(6): 1399-1406.
- [14] Lo C P. Modeling the population of China using DMSP operational linescan system nighttime data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(9): 1037-1047.
- [15] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, et al. Relation between satellite observed visible near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [16] Kiran Chand T R, Badarinath K V S, Elvidge C D, et al. Spatial characterization of electrical power consumption patterns over India using temporal DMSP-OLS nighttime satellite data. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(3): 647-661.
- [17] 张健, 高中贵, 濮励杰, 等. 经济快速增长区城市用地空间扩展对生态安全的影响. 生态学报, 2008, 28(6): 2799-2810.
- [18] 苏伟忠, 杨桂山, 陈爽. 太湖流域湖西区城市化空间过程及其生态效应. 生态学报, 2008, 28(9): 4306-4312.
- [19] 舒松, 余柏蒨, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 169-176.
- [20] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 595-609.
- [21] 王鹤饶, 郑新奇, 袁涛. DMSP/OLS 数据应用研究综述. 地理科学进展, 2012, 31(1): 11-19.
- [22] 李晶, 任志远. 基于 GIS 的陕北黄土高原土地生态系统固碳释氧价值评价. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2943-2950.
- [23] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. 植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424.
- [24] 李红梅, 周秉荣, 李林, 等. 青海高原植被净初级生产力变化规律及其未来变化趋势. 生态学杂志, 2011, 30(2): 215-220.
- [25] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探. 植物生态学报, 1995, 19(3): 193-200.
- [26] 郝慧梅, 任志远, 薛亮. 基于 3S 的榆林市植被净初级生产力价值估算及其时空差异分析. 地理与地理信息科学, 2008, 24(5): 75-79.
- [27] Jian N. Net primary productivity in forests of China national inventory data and comparison with model scaling up of predictions. Forest Ecology and Management, 2003, 176: 485-495.
- [28] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型[D]. 北京: 中国科学院自然资源综合考察委员会, 1996.
- [29] 樊江文, 钟华平, 梁飏, 等. 草地生态系统碳储量及其影响因素. 中国草地, 2003, 25(6): 51-58.
- [30] Prince S D, Hasket J, Steininger M, et al. Net primary production of U.S. Midwest croplands from agricultural harvest yield data. Ecological Applications, 2001, 11: 1194-1205.

Urban process and its eco-environmental impact in Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia energy area

LIU Yanxu^{1,2}, WU Wenheng¹, WEN Xiaojin¹, ZHANG Donghai²

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. School of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Nowadays, urbanization is becoming a comprehensive subject in the process of socioeconomic development in China. So it is significant to probe into the urbanization process and its eco-environmental effect. As we know, the night light intensity index may reflect the change of urban population, economic strength and infrastructure construction. So in this paper, a group of DPMS/OLS data for continuous years (1992-2009) has been used to study the process and pattern of urbanization in Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia (Jin-Shaan-Meng) energy area. Furthermore, a line chart of urbanization pattern indices is made, which might reflect the dynamic conditions of urbanization in the energy area. The result shows that the total intensity of the urbanization process has been increased continuously, but the urbanization intensity of unit area is fluctuant and inconsistent. The changing trend of urbanization pattern tends to be the complex edges, as well as the decentralized layout. The distribution might be relative to the dispersive patterns of mining areas. Net primary productivity (NPP) value is taken as a representative of the ecological service for carbon fixation and oxygen release. The NPP value and urbanization intensity are both growing in most of the areas, though in a few of the areas the urbanization intensity grows very fast, while the NPP value comes to fall. This phenomenon indicates that although the ecological effect of vegetation is declining in some zones due to the increase of the impervious surface area, the urbanization process does not minimize the overall regional ecological effect. Moreover, the differences of the NPP value between the edge area and the outside area are small, which are only caused by the inferior natural conditions in the whole region. On the contrary, in the central area for human activities, the eco-environmental effect is recovered. In the arid area, a good eco-environment will become an objective demand in the urbanization process when the economic property has been accumulated to a certain extent. What's more, both the good environment demand and enough economic property can availably promote the ecological construction. Of course, the positive conclusion can be drawn through the short-term data analysis of urbanization, but the whole vegetation ecological effect cannot be extrapolated on time scale. The difference between short-term urbanization process and long-term irreversible urbanization behavior should be noticed, and more consideration of ecological restoration in energy area is surely in need at present.

Key words: urbanization; light intensity; NPP value; Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia energy area